

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-150929

(43)Date of publication of application : 24.05.2002

(51)Int.Cl.

H01J 9/02

(21)Application number : 2001-254636

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 24.08.2001

(72)Inventor : KITAMURA SHIN  
TSUKAMOTO TAKEO

(30)Priority

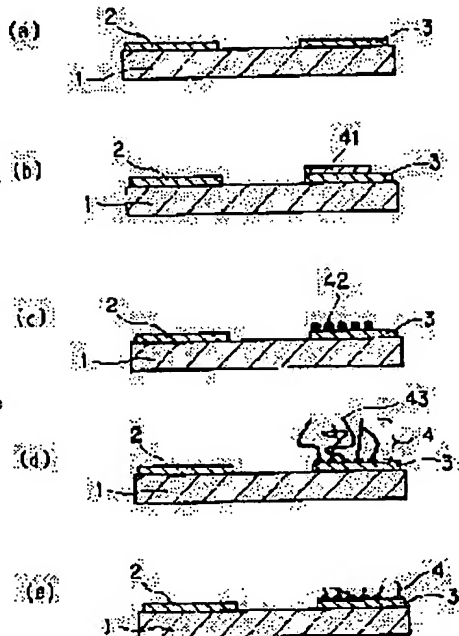
Priority number : 2000265822 Priority date : 01.09.2000 Priority country : JP

## (54) MANUFACTURING METHOD OF ELECTRON EMITTING ELEMENT, ELECTRON SOURCE AND IMAGE FORMING DEVICE

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a manufacturing method of an electron emitting element, an electron source and an image forming device that enable easy manufacture of the electron emitting element and the electron source, that have superior durability, by achieving uniformity of electron emission property and the image forming device that further has a uniform display property over a long time.

SOLUTION: The manufacturing method of the electron emitting element comprises a process of arranging a cathode electrode on the surface of the substrate, a process of arranging an electrode so as to be opposed to the cathode electrode, a process of arranging plural fibers made of mainly carbon on the cathode electrode, and a process of impressing in a decompressed atmosphere an electric potential, that is higher than the potential impressed on the cathode electrode on the electrode arranged opposed to the above cathode electrode.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

24.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3610325

[Date of registration]

22.10.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-150929  
(P2002-150929A)

(43) 公開日 平成14年5月24日 (2002.5.24)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 0 1 J 9/02

識別記号

F I  
H 0 1 J 9/02

データベース(参考)  
B

審査請求 未請求 請求項の数40 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2001-254636(P2001-254636)  
(22) 出願日 平成13年8月24日(2001.8.24)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-265822(P2000-265822)  
(32) 優先日 平成12年9月1日(2000.9.1)  
(33) 優先権主張国 日本(J P)

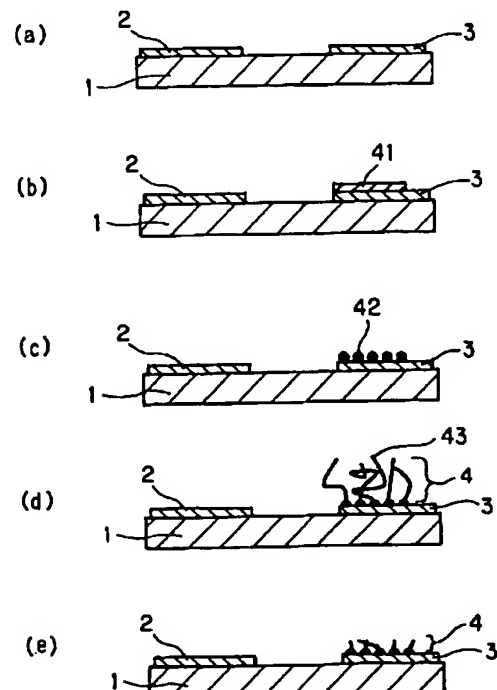
(71) 出願人 000001007  
キヤノン株式会社  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
(72) 発明者 北村 伸  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内  
(72) 発明者 塚本 健夫  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内  
(74) 代理人 100085006  
弁理士 世良 和信 (外2名)

(54) 【発明の名称】 電子放出素子、電子源及び画像形成装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 電子放出特性の均一化を図ることで、耐久性に優れた電子放出素子、電子源、さらには長期にわたって均一な表示特性を有する画像形成装置を容易に作製可能とする電子放出素子、電子源及び画像形成装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 電子放出素子の製造方法にあつては、基板の表面上に、陰極電極を配置する工程と、前記陰極電極に対向する様に電極を配置する工程と、前記陰極電極上に炭素を主成分とする複数のファイバーを配置する工程と、減圧雰囲気中で、前記陰極電極に対向する様に配置される電極に、前記陰極電極に印加される電位よりも高い電位を印加する工程と、を有することを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板の表面上に、陰極電極を配置する工程と、  
前記陰極電極に対向する様に電極を配置する工程と、  
前記陰極電極上に炭素を主成分とする複数のファイバーを配置する工程と、  
減圧雰囲気中で、前記陰極電極に対向する様に配置される電極に、前記陰極電極に印加される電位よりも高い電位を印加する工程と、を有することを特徴とする電子放出素子の製造方法。

【請求項2】前記陰極電極に対向する様に配置される電極は、前記基板とは離間して配置されるアノード電極であることを特徴とする請求項1に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項3】前記陰極電極に対向する様に配置される電極は、前記陰極電極と間隔を置いて、前記基板の表面上に配置される引き出し電極であることを特徴とする請求項1に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項4】前記陰極電極に対向する様に配置される電極に電位を印加する工程は、エミッションサイトの数を増加させる工程であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項5】前記陰極電極に対向する様に配置される電極に電位を印加する工程で、前記陰極電極に対向する様に配置される電極に印加される電位は、前記ファイバーから電子が放出される電位であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項6】前記陰極電極に対向する様に配置される電極に電位を印加する工程は、前記ファイバーと化学的あるいは物理的に反応するガスを含む雰囲気中で行われることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項7】前記ファイバーと化学的に反応するガスは、 $O_2$ 、 $H_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ のいずれかであることを特徴とする請求項6に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項8】前記ファイバーと化学的あるいは物理的に反応するガスの導入圧力は、 $1 \times 10^{-4} Pa$ 以上であることを特徴とする請求項6又は7に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項9】前記陰極電極に対向する様に配置される電極に電位を印加する工程は、前記陰極電極と前記陰極電極に対向する様に配置される電極との間にパルス電圧を印加する工程であることを特徴とする請求項6乃至8に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項10】前記ファイバーは、炭化水素ガスを分解して形成されることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項11】前記ファイバーは、前記陰極電極上に予め配置された触媒を用いて、前記炭化水素ガスを分解し

て形成されることを特徴とする請求項10に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項12】前記触媒は、Fe、Co、Pd、Ni又はこれらの中から選択された材料の合金からなることを特徴とする請求項11に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項13】前記ファイバーは、グラファイトナノファイバー、カーボンナノチューブもしくはアモルファスカーボンファイバーからなることを特徴とする請求項1乃至12のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項14】前記ファイバーは、グラフェンを有することを特徴とする請求項1乃至12のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項15】前記ファイバーは、複数のグラフェンを有することを特徴とする請求項1乃至12のいずれか1項に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項16】前記複数のグラフェンは、前記ファイバーの軸方向に積層されてなることを特徴とする請求項15に記載の電子放出素子の製造方法。

【請求項17】電子放出素子を複数配列した電子源の製造方法であって、  
前記電子放出素子が請求項1乃至16のいずれかに記載の方法により製造されることを特徴とする電子源の製造方法。

【請求項18】電子源と画像形成部材とを有する画像形成装置の製造方法であって、  
前記電子源が請求項17に記載の方法により製造されることを特徴とする画像形成装置の製造方法。

【請求項19】複数の電子放出素子からなる電子源の製造方法であって、

各々が炭素を主成分とする複数のファイバーを有する複数の電子放出素子と、各々が前記複数の電子放出素子の中の少なくとも1つと電気的に接続する複数の配線と、を基板上に配置する工程と、  
前記複数の電子放出素子の中の少なくとも一部の電子放出素子に電圧を印加することにより、当該電圧が印加された電子放出素子の電気的特性を測定する工程と、  
前記測定の結果に基づいて、前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程と、を有し、  
前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程は、減圧雰囲気中で、前記複数の電子放出素子の中の少なくとも1つから電子を放出させる工程を含むことを特徴とする電子源の製造方法。

【請求項20】前記複数の配線は、複数の行方向配線と、該行方向配線と交差する複数の列方向配線と、からなり、  
前記複数の電子放出素子の各々は、前記行方向配線の1つと前記列方向配線の1つとに接続されていることを特徴とする請求項19に記載の電子源の製造方法。

【請求項21】前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程は、前記複数の列方向配線又は前記複数の行方向配線の中から一部の列方向配線又は行方向配線を選択し、該選択された配線に接続する電子放出素子から電子を放出させる工程を繰り返すことで、所望の電子放出素子から電子を放出させる工程を含むことを特徴とする請求項20に記載の電子源の製造方法。

【請求項22】前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程は、前記複数の電子放出素子の中から一部の電子放出素子を選択し、当該選択された電子放出素子から電子を放出させる工程を繰り返すことで、所望の電子放出素子から電子を放出させる工程を含むことを特徴とする請求項19乃至21のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項23】前記電子放出素子は、前記ファイバーが電気的に接続する陰極電極と、該陰極電極と間隔を置いて配置された引き出し電極と、を含み、前記電子放出素子から電子を放出させる工程は、前記陰極電極と前記引き出し電極との間に電圧を印加することにより行われることを特徴とする請求項19乃至22のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項24】前記電子放出素子から電子を放出させる工程は、前記基板と離間して配置された電極と、前記電子放出素子との間に電圧を印加することにより行われることを特徴とする請求項19乃至22のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項25】前記電子放出素子は、前記ファイバーが電気的に接続する陰極電極と、該陰極電極と間隔を置いて配置された引き出し電極と、を含み、前記電子放出素子から電子を放出させる工程は、前記基板と離間して配置された電極と、前記電子放出素子との間に電位差を与えることにより行われることを特徴とする請求項19乃至22のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項26】前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程は、少なくとも1つ以上の電子放出素子のエミッションサイトの数を増加させる工程であることを特徴とする請求項19乃至25のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項27】前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程は、前記ファイバーと化学的あるいは物理的に反応するガスを含む雰囲気中で行われることを特徴とする請求項19乃至26のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項28】前記ファイバーと化学的に反応するガスは、少なくとも、 $O_2$ 、 $H_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$ の中から選択されたガスを含むことを特徴とする請求項27に記載の電子源の製造方法。

【請求項29】前記ガスの導入圧力は、 $1 \times 10^{-4} Pa$ 以上であることを特徴とする請求項27又は28に記載

の電子源の製造方法。

【請求項30】前記電子放出素子から電子を放出させる工程は、当該電子放出素子にパルス電圧を印加することにより行われることを特徴とする請求項27に記載の電子源の製造方法。

【請求項31】前記ファイバーは、炭化水素ガスを分解して形成されることを特徴とする請求項19乃至30のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項32】前記ファイバーは、前記陰極電極上に予め配置された触媒を用いて、前記炭化水素ガスを分解して形成されることを特徴とする請求項31に記載の電子源の製造方法。

【請求項33】前記触媒は、Fe、Co、Pd、Niまたはこれらの中から選択された材料の合金からなることを特徴とする請求項32に記載の電子源の製造方法。

【請求項34】前記ファイバーは、グラファイトナノファイバー、カーボンナノチューブもしくはアモルファスカーボンファイバーからなることを特徴とする請求項19乃至33のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項35】前記ファイバーは、グラフェンを有することを特徴とする請求項19乃至33のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項36】前記ファイバーは、複数のグラフェンを有することを特徴とする請求項19乃至33のいずれか1項に記載の電子源の製造方法。

【請求項37】前記複数のグラフェンは、前記炭素を主成分とするファイバーの軸方向に積層されてなることを特徴とする請求項36に記載の電子源の製造方法。

【請求項38】電子源と画像形成部材とを有する画像形成装置の製造方法であって、前記電子源が請求項19乃至37のいずれか1項に記載の方法により製造されることを特徴とする画像形成装置の製造方法。

【請求項39】前記画像形成装置は、前記画像形成部材が配置された第1の基板と、前記電子源が配置された第2の基板と、が封着されたものであり、前記電子放出素子の電気的特性の測定が、前記第1の基板と前記第2の基板とが封着される前に行われることを特徴とする請求項38に記載の画像形成装置の製造方法。

【請求項40】前記画像形成装置は、前記画像形成部材が配置された第1の基板と、前記電子源が配置された第2の基板と、が封着されたものであり、前記複数の電子放出素子間の電気的特性の差を低減する工程が、前記第1の基板と前記第2の基板とが封着される前に行われることを特徴とする請求項38に記載の画像形成装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電子放出素子、電

子源及び画像形成装置の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】金属に対し $10^6\text{V}/\text{cm}$ 以上の強電界をかけて金属表面から電子を放出させる電界放出型(FE型)電子放出素子が冷電子源の一つとして注目されている。

【0003】FE型の冷電子源が実用化されれば、薄型の自発光画像表示装置が可能となり、消費電力の低減、軽量化にも貢献する。

【0004】縦型のFE型電子放出素子の構造を図14に示す。なお、図中、141は基板、142はゲート電極(引き出し電極)、143はカソード電極(陰極電極)、144は絶縁層、145はエミッタ、146はアノード、147はアノードに照射される電子ビームの形状をあらわしている。カソード電極143上に配置された絶縁層144とゲート電極142との積層体に開口を形成し、この開口内に円錐状のエミッタ145を配置した構造(以下スピント型)である。このような構造は、例えばC. A. Spindt, "Physical Properties of thin-film fieldemission cathodes with molybdenum cones", J. Appl. Phys., 47, 5248(1976)等の開示されている。

【0005】また、横型FE型電子放出素子の例としては、先端が先鋭化されたエミッタ電極と、エミッタ電極先端から電子を引き出すゲート電極(引き出し電極)とが基板と平行に形成され、ゲート電極とエミッタ電極とが対向する方向と直行した方向にコレクタ(本件ではアノードと呼ぶ)が構成されたものがある。

【0006】また、繊維状カーボンを用いた電子放出素子の例としては、特開平8-115652号公報や特開2000-223005号公報、ヨーロッパ公開特許EP-A1-1022763等の開示されている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記FE型電子放出素子で作製された電子源を用いた画像形成装置では、電子源から蛍光体までの距離Hと、電子放出素子と蛍光体間のアノード電圧Vaと、陰極電極と引き出し電極間の素子電圧Vfと、に応じた電子ビームスポット(以下ビーム径と呼ぶ)が得られる。前述のビーム径はサブミリメートル程度であり、画像形成装置としては十分の解像度を持っている。

【0008】しかしながら、画像表示装置等の画像形成装置においては、近年、より高精細な解像度が要求されている。

【0009】さらに、表示画素数の増大に伴い、駆動時には、電子放出素子の持つ素子容量に起因する消費電力が増大するため、素子容量の低減、素子電圧の低減と電子放出素子の効率向上が望まれていた。

【0010】また、電子放出素子の特性バラツキにより各画素の明るさに分布が生じることを防止するために、

電子放出素子の特性の均一化が必要とされる。

【0011】このため、素子固有の容量低減、素子電圧の低減に加え、電子放出素子ごとの特性バラツキを低減することが望まれている。

【0012】前述の図14に示すスピント型電子放出素子では、引き出し電極142が基板141と積層されて構成されることで、大きなゲート容量と多数のエミッタ145との間に寄生容量が形成されていた。さらに、先鋭されていない金属コーンをエミッタ145として用いているために、素子電圧が数十Vと高く、容量性の消費電力が大きい欠点があった。

【0013】また、取り出された電子ビームは広がるため、ビームの広がりを押さえるためには、集束電極が必要であった。例えば特開平07-006714号公報には、電子を集束させるための電極を配置し、電子軌道を収束する手法が開示されている。しかし、この手法では集束電極の付与による工程の複雑さと電子放出効率の低下等が問題であった。

【0014】また、一般的な横型FE型電子放出素子では陰極から放出された電子は、対向するゲート電極に衝突しやすい構成になっているため、効率(ゲート電極に流れる電子電流と陽極(アノード)に到達する電子電流の比)が低下するだけでなく、陽極(アノード)でのビーム形状が大きく広がる構造であった。

【0015】また、繊維状カーボンの集合体を用いた電子放出素子においては、各々の長さや形状の差が大きいと、局所的な電子放出(電界集中)現象が顕著になる。そのため、局所的に電界集中した部分では電子放出に伴う電流密度が高くなり、その結果、素子としての電子放出特性の低下や素子の寿命の低下を招くことがあった。

【0016】さらに、このような素子を複数配列した画像形成装置等の場合、上記の現象により、電子放出素子毎のIe(放出電流)量に分布が生じ、画像の明暗を上手く表現できなくなったり、画像がチラツいたりする等、画像形成装置の性能を低下させる原因となる。

【0017】本発明は上記の課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、電子放出特性の均一化を図ることで、耐久性に優れた電子放出素子、電子源、さらには長期にわたって均一な表示特性を有する画像形成装置を容易に作製可能とする電子放出素子、電子源及び画像形成装置の製造方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するためには本発明の電子放出素子の製造方法にあつては、基板の表面上に、陰極電極を配置する工程と、前記陰極電極に対向する様に電極を配置する工程と、前記陰極電極上に炭素を主成分とする複数のファイバーを配置する工程と、減圧雰囲気中で、前記陰極電極に対向する様に配置される電極に、前記陰極電極に印加される電位よりも高

い電位を印加する工程と、を有することを特徴とするものである。

【0019】また、上記目的を達成するために本発明の電子源の製造方法にあつては、複数の電子放出素子からなる電子源の製造方法であつて、各々が炭素を主成分とする複数のファイバーを有する複数の電子放出素子と、各々が前記複数の電子放出素子の中の少なくとも1つと電氣的に接続する複数の配線と、を基板上に配置する工程と、前記複数の電子放出素子の中の少なくとも一部の電子放出素子に電圧を印加することにより、当該電圧が印加された電子放出素子の電氣的特性を測定する工程と、前記測定の結果に基づいて、前記複数の電子放出素子間の電氣的特性の差を低減する工程と、を有し、前記複数の電子放出素子間の電氣的特性の差を低減する工程は、減圧雰囲気中で、前記複数の電子放出素子の中の少なくとも1つから電子を放出させる工程を含むことを特徴とするものである。

【0020】また、前記電子放出素子から電子を放出させる工程が、前記ファイバーと物理的あるいは化学的に反応し得るガスを含む雰囲気下で行われることが好ましい。この工程により、前記ファイバーの電界が集中する箇所を局所的に反応させて前記箇所を部分的にエッチングすることができ、その結果安定で均一性の高い電子放出素子、電子源及び画像形成装置を形成することができる。

【0021】前記ファイバーと化学的に反応し得るガスは、 $H_2$ 、 $H_2O$ 、 $O_2$ 又は $CO_2$ を含むガスであることが好適である。あるいはまた、前記ファイバーと化学的に反応し得るガスは、 $H_2O$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$ の中から選ばれたガスと、 $H_2$ ガスと、の混合ガスであることが好適である。

【0022】

【発明の実施の形態】以下に図面を参照して、この発明の好適な実施の形態を例示的に詳しく説明する。ただし、この実施の形態に記載されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対配置などは、特に特定の記載がない限りは、この発明の範囲をそれらのみに限定する趣旨のものではない。

【0023】まず、本発明の特徴である電子放出素子の電子放出特性の均一化処理について、以下に説明する。

【0024】本発明では、電子放出素子の電子放出部材として繊維状カーボンを用いることが最も好ましい。繊維状カーボンは縦横比が非常に大きいため、電界をエンハンスさせ易い。そのために、低電圧で電子を放出させることが可能であり、本発明の電子放出部材として好ましく用いられる。

【0025】なお、本発明における「繊維状カーボン」とは、「炭素を主成分とする柱状物質」あるいは、「炭素を主成分とする線状物質」ということもできる。また、「繊維状カーボン」とは、「炭素を主成分とするフ

アイバー」ということもできる。そして、また、本発明における「繊維状カーボン」とは、より具体的には、カーボンナノチューブ、グラファイトナノファイバー、アモルファスカーボンファイバーを含む。そして、中でも、グラファイトナノファイバーが電子放出部材として最も好ましい。

【0026】しかし、電子放出部材として繊維状カーボンを用いる際には、その製法上、複数の繊維状カーボンの集合体として用いる場合が多い。また、その個々の繊維状カーボンの太さや長さ等の形状を揃えることが難しいために、複数の繊維状カーボンからなる集合体をそのまま電子放出素子の電子放出部材として用いてしまうと、電子放出素子毎の特性のバラツキを引き起こす場合が多い。

【0027】そこで、本発明では、複数の繊維状カーボンを電子放出部材として用いた電子放出素子の電子放出特性を制御するために、各電子放出素子間の電子放出特性差を低減せしめる処理（均一化）を行う。

【0028】本発明に係る電子放出素子の製造方法の特徴である「均一化処理」は、電子放出素子を構成する一対の電極のうち、駆動時にもう一方の電極（引き出し電極）よりも低い電位が印加される電極（陰極電極）上に複数の繊維状カーボン（ファイバー）を配置した後に、電子放出素子に電圧を印加するという方法である。

【0029】この方法は、特に、複数の電子放出素子を用いて電子源や画像形成装置等を形成する場合に簡便で非常に有効な方法である。

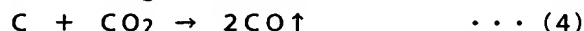
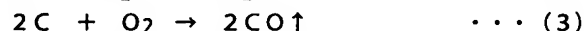
【0030】また、本発明における「均一化処理」は、複数の電子放出素子間の電子放出特性差を低減するものだけでなく、1つの電子放出素子の電子放出特性を向上させるものをも含む。

【0031】即ち、繊維状カーボンを形成した直後の電子放出素子においては、複数の繊維状カーボンの形態に差があることは前述した通りである。そのような素子には、特異的に電界が集中する箇所が形成されている場合がある。そのような電界が特異的に集中する形態を持つ電子放出素子を駆動していると、その特異箇所から集中的に電子放出が行われ、その箇所に負荷が過大に生じ、その結果、電子放出特性が急激に損なわれるなどして、電子放出素子として満足な性能が得られなくなる場合がある。

【0032】そのため、本発明の「均一化処理」を行うことで、上述したような特異的に電界が集中する箇所を除去し、多数の繊維状カーボンから平均的に電子を放出するようにし（電子放出のエミッションサイト数を増加させ）、その結果、長期に渡って安定で良好な電子放出特性を持つ電子放出素子を得ることができる。

【0033】また、本発明における上記「均一化処理」は、繊維状カーボンと反応する物質を含む雰囲気下で、素子に電圧を印加することが好ましい。

【0034】この均一化処理の原理は、電子放出部である繊維状カーボンから電子が真空中に放出される際に発生する熱を利用して、エッチングを行うものである。また、特に繊維状カーボンと反応する物質を含む雰囲気中で行う場合には、雰囲気中に含まれる反応性物質と繊維



以上のような反応が有効である。

【0036】そのため、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}_2$ 等が繊維状カーボンと反応する物質として有効である。

【0037】図2に繊維状カーボンを電子放出部材とした横型FE型電子放出素子を例とした本発明の均一化処理の一例を模式図で示した。

【0038】図2において、1は絶縁性の基板、2は引き出し電極（「第2電極」または「ゲート電極」とも言う）、3は陰極電極（「第1電極」または「カソード電極」とも言う）、4は陰極電極に電氣的に接続された複数の繊維状カーボン（「ファイバー」とも言う）からなる電子放出部材である。また、20は真空装置、21は基板ホルダ、22はガス導入バルブ、23は排気装置、24は陽極（「アノード」または「第3電極」とも言う）、25は等電位面である。

【0039】ここでは、横型FE型電子放出素子の例を示したが、本発明の製造方法は図14に示した様な縦型FE型電子放出素子の電子放出部材として繊維状カーボンをを用いたものにも好ましく適用可能である。尚、縦型FE型電子放出素子に比べ、横型FE型電子放出素子の方が、製造が簡易であると共に、駆動時の容量成分が少ないため、高速駆動ができるので好ましい素子である。

【0040】また、図14に示した縦型のFE型電子放出素子は、カソード電極143とゲート電極142を含むが、繊維状カーボンは低電界で電子放出することが可能なので、図14におけるゲート電極142、絶縁層144を省いた構造の縦型のFE型電子放出素子にも本発明は適用可能である。即ち、基板141上に配置されたカソード電極143と、その上に配置された繊維状カーボンとで電子放出素子を構成したものにも本発明は適用できる。

【0041】縦型FE型電子放出素子の場合には、繊維状カーボンが配置されたカソード電極（図14の符号143）とアノード（図14の符号146）との間に、後述する「均一化処理」において行なわれる電圧印加と同様の電圧印加処理を行うことによって行うことができる。あるいはまた、繊維状カーボンが配置されたカソード電極（図14の符号143）と、カソード電極とアノード（図14の符号146）との間に配置されたゲート電極（図14の符号142）と、の間に、後述する「均一化処理」において行なわれる電圧印加と同様の電圧印

状カーボンを選択的に反応させ、部分的にエッチングを行うというものである。

【0035】繊維状カーボンは、カーボンを主成分とするものであるため、

加処理を行うことによって行うことができる。

【0042】また、均一化処理は、繊維状カーボンが配置されたカソード電極の上方に、別途、電極板を配置し、この電極板とカソード電極との間に後述する「均一化処理」において行なわれる電圧印加と同様の電圧印加処理を行うことによって行うことができる。

【0043】均一化処理は、真空装置20内を、排気装置23により十分に排気した後、ガス導入バルブ22より繊維状カーボンと反応する「反応ガス」を導入する。次に、繊維状カーボンの電子放出部材4に対して、引き出し電極2が正となるような電圧をかけ、繊維状カーボンの電子放出部材4から電子を放出させる。すると繊維状カーボンの電子放出部材4では、電子放出の熱等により上記（1）～（4）式の反応が右に進行して、繊維状カーボンの電子放出部材4がエッチングされる（図2（a））。

【0044】上記の反応の進行中は、ガス導入バルブ22によって絶えず上記（1）～（4）式の左辺の反応ガスを導入すると同時に、排気装置23によって右辺の生成物を排気して、上記の反応式を右に進行させる。

【0045】反応によっては可逆変化である場合もあるので、反応生成物が直ちに反応系から取り除かれるようにしておく。

【0046】また、反応ガスと電子放出部材4との反応を促進するために、電子放出休止時間を作るとよいので、電子放出部材4と引き出し電極2との間に印加する電圧はパルス電圧であることが好ましい。

【0047】ここで、反応の駆動力は電子放出の熱であるので、電子放出部材4がカーボン繊維の集合体において、より電子放出し易い（電界がエンハンスされ易い）部分が集中的に反応してエッチングされる。その結果、過度に電界の集中していた部分が除去されることにより、電界が電子放出領域により均等にかかるようにすることができる。

【0048】図2（b）は均一化処理が終了した後の模式図である。均一化処理終了後は個々の繊維状カーボンの電子放出部材4に印加される電界の差が緩和される。つまり、始め図2（a）のように大きく歪んでいた等電位面25が、図2（b）のように歪みが小さくなる。

【0049】また、画像形成装置を形成する場合等には、各々が繊維状カーボンを有する複数の電子放出素子



と当該電子放出素子を駆動するための配線とを形成した電子源基板と、蛍光体等からなる画像形成部材を有するフェイスプレートと、を張り合わせ、真空外囲器を形成した（封着工程と呼ぶ）後に、上記均一化処理を行ってもよい。

【0050】しかし、好ましくは、上記封着工程前に、上記電子源基板を図2に示した真空装置内に配置して、上述の均一化処理を行う。このようにすれば、画像形成装置内部を反応性ガスなどで汚すことがないので好ましい。また、各電子放出素子の特性検査を行った後に封着を行うので、パネルとしての歩留まりが向上する。

【0051】また、上記均一化処理は、カソード電極と引き出し電極間への電圧印加、あるいはカソード電極とアノード電極間への電圧印加に限らず、カソード電極と引き出し電極とアノード電極の3つの電極間に電圧を印加して行う場合もある。上記いずれの場合においても、各電極間に印加される電圧は、実際に駆動する際に各電極間に印加される電圧関係と同様にすることが好ましい。

【0052】以上のような処理を行うことで、複数の繊維状カーボンを用いた電子放出素子、電子源、及び画像形成装置の性能を向上させることができる。

【0053】即ち、本発明の電子放出素子は、上記均一化処理を施すことにより、局所的な電界集中が防止され、電子放出特性の均一化を図ることができると共に、局所的な電界集中で電流密度が高くなって過負荷がかかり、放出電流の衰退が起こることが抑制できる。

【0054】このため、放電を誘発することを抑制でき、電子放出素子の寿命をより長くすることができ、時間に対して変動の少ない安定した電子放出電流を長期にわたって維持することができる。

【0055】そして、複数の電子放出素子を備えた電子源及び画像形成装置に対しても、各電子放出素子の電子放出電流が安定して維持されることから各画素の耐久性が向上し、画像の明暗を上手く表現でき、画像のチラつきを防止でき、長期にわたって均一な表示特性を有する。

【0056】以下に、本発明の具体的な構成である実施の形態を説明する。

【0057】本発明の製造方法が有効となる電子放出素子構成の一例を図3に示す（図3（a）は本実施の形態に係る電子放出素子の平面図、図3（b）は図3（a）におけるA-A断面図である）。

【0058】図3において、1は基板、2は引き出し電極、3は陰極電極、4は電子放出部材である。また図4に本実施の形態の電子放出素子の製造方法の一例を模式的に示した。以下図4に沿って本実施の形態の電子放出素子の製造方法の一例を順を追って説明する。

【0059】予め、その表面を十分に洗浄した、石英ガラス、Na等の不純物含有量を減少させ、K等に一部置

換したガラス、青板ガラス、及びシリコン基板等にスパッタ法等により $\text{SiO}_2$ を積層した積層体、アルミナ等のセラミックス等の絶縁性基板を基板1とする（図4（a））。

【0060】上記基板1上に、引き出し電極2及び陰極電極3を積層する（図4（b））。

【0061】引き出し電極2及び陰極電極3は導電性を有しており、蒸着法、スパッタ法等の一般的真空成膜技術、フォトリソグラフィ技術により形成される。

【0062】引き出し電極2及び陰極電極3の材料は、例えば、炭素、金属、金属の窒化物、金属の炭化物、金属のホウ化物、半導体、半導体の金属化合物から適宜選択される。

【0063】電極2、3の厚さとしては、数十nmから数 $\mu\text{m}$ の範囲で設定される、好ましくは炭素、金属、金属の窒化物、金属の炭化物の耐熱性材料が望ましい。尚、この電極の厚さが薄いために電位降下などが心配される時、あるいはマトリクス配列でこの電子放出素子を用いる場合は必要に応じて低抵抗の配線用金属材料が電子放出に関与しない部分で用いられることがある。

【0064】引き出し電極2と陰極電極3の間隔は、用いる電子放出部材4の電子放出電界（横方向電界）と画像形成に必要な縦方向電界との電界を比較した時に、電子放出電界が縦方向電界よりも1倍から10倍程度の値になるように、引き出し電極2と陰極電極3間の電子放出素子を駆動する素子電圧に応じて決めればよい。

【0065】例えば、アノードと陰極電極3との間を2mmの間隔として10kVを印加する場合、この時の縦方向電界は $5\text{V}/\mu\text{m}$ となる。この場合、用いるべき電子放出部材4の電子放出電界は $5\text{V}/\mu\text{m}$ よりも大きな電子放出電界を持つ材料であり、選択した電子放出電界に相当するように、その間隔と、素子電圧を決めればよい。

【0066】尚、本発明で言う「横方向電界」は、「基板1の表面と実質的に平行な方向における電界」と言う事ができる。あるいは、また、「引き出し電極2と陰極電極3とが対向する方向における電界」とも言う事ができる。

【0067】また、本発明で言う「縦方向電界」とは、「基板1の表面と実質的に垂直な方向における電界」、あるいは「基板1とアノードとが対向する方向における電界」と言う事もできる。

【0068】次に、表面が凹凸形状の電子放出部材4を陰極電極3上に配置する（図4（c））。電子放出部材4として特に好ましく用いられる材料は、前述したように繊維状カーボンの集合体である。また、繊維状カーボンとしては、グラファイトファイバを用いることが好ましい。

【0069】上記繊維状カーボンは、数 $\text{V}/\mu\text{m}$ の閾値電界を持つ。繊維状カーボンの形態の一例を図10、図

11に示す。各図では一番左側に光学顕微鏡レベル（～1000倍）で見える形態、真中は走査電子顕微鏡（SEM）レベル（～3万倍）で見える形態、右側は透過電子顕微鏡（TEM）レベル（～100万倍）で見えるカーボンの形態を模式的に示している。

【0070】図10のように、グラフェンが円筒形状（円筒形が多重構造になっているものはマルチウォールナノチューブと呼ばれる）の形態をとるものはカーボンナノチューブと呼ばれ、特にチューブ先端を開放させた構造の時に、最もその閾値が下がる。

【0071】あるいは、比較的低温で生成される繊維状カーボンを図11に示す。この形態の繊維状カーボンは、グラフェンの積層体（このため「グラファイトナノファイバー」と呼ばれることがあるが、温度によりアモルファス構造の割合が増加する）で構成されている。より具体的には、グラファイトナノファイバーは、その長手方向（ファイバーの軸方向）にグラフェンが積層されたファイバー状の物質を指す。換言すると、図11に示す様に、グラフェンがファイバーの軸に対して非平行に配置されたファイバー状の物質である。

【0072】一方のカーボンナノチューブは、その長手方向（ファイバーの軸方向）を囲むよう（円筒形状）にグラフェンが配置されているファイバー状の物質である。換言すると、グラフェンがファイバーの軸に対して実質的に平行に配置されるファイバー状の物質である。

【0073】尚、グラファイトの1枚面を「グラフェン」あるいは「グラフェンシート」と呼ぶ。より具体的には、グラファイトは、炭素原子が $sp^2$ 混成により共有結合でできた正六角形を敷き詰める様に配置された炭素平面が、3.354Åの距離を保って積層してできたものである。この一枚一枚の炭素平面を「グラフェン」あるいは「グラフェンシート」と呼ぶ。

【0074】どちらの繊維状カーボンも電子放出の閾値が1V～10V/ $\mu m$ 程度であり、本発明の電子放出部材（エミッター）4の材料として好ましい。

【0075】特に、グラファイトナノファイバーの集合体を用いた電子放出素子では、図2、図3等に示した本発明の素子構造に限らず、低電界で電子放出を起こすことができ、大きな放出電流を得ることができ、簡易に製造ができ、安定な電子放出特性をもつ電子放出素子を得ることができる。

【0076】例えば、グラファイトナノファイバーをエミッタとし、このエミッタからの電子放出を制御する電極を用意することで電子放出素子とすることができ、さらに、グラファイトナノファイバーから放出された電子の照射により発光する発光体を用いればランプなどの発光装置を形成することができる。

【0077】また、さらには、上記グラファイトナノファイバーを用いた電子放出素子を複数配列すると共に、蛍光体などの発光体を有するアノード電極を用意するこ

とでディスプレイなどの画像表示装置をも構成することができる。

【0078】グラファイトナノファイバーを用いた電子放出装置や発光装置や画像表示装置においては、内部を従来の電子放出素子のように超高真空中に保持しなくても安定な電子放出をすることができ、また、低電界で電子放出するため、信頼性の高い装置を非常に簡易に製造することができる。

【0079】そのため、グラファイトナノファイバーを用いたデバイスにおいては、本発明の製造方法が好ましく適用される。

【0080】上記した繊維状カーボンは、触媒（炭素の堆積を促進する材料）を用いて炭化水素ガスを分解して形成することができる。カーボンナノチューブとグラファイトナノファイバーは触媒の種類、及び分解の温度によって異なる。

【0081】前記触媒材料としては、Fe、Co、Pd、Niもしくはこれらの中から選択された材料の合金が繊維状カーボン形成用の核として用いることができる。

【0082】特に、Pd、Niにおいては低温（400℃以上の温度）でグラファイトナノファイバーを生成することが可能である。Fe、Coを用いたカーボンナノチューブの生成温度は800℃以上必要なことから、Pd、Niを用いてのグラファイトナノファイバー材料の作成は低温で可能なため、他の部材への影響や、製造コストの観点からも好ましい。

【0083】さらに、Pdにおいては酸化物が水素により低温（室温）で還元される特性を用いて、核形成材料として酸化パラジウムを用いることが可能である。

【0084】酸化パラジウムの水素還元処理を行うと、一般的な核形成技法として従来から使用されている金属薄膜の熱凝集や、超微粒子の生成と蒸着を用いずとも、比較的低温（200℃以下）で初期凝集核の形成が可能となった。

【0085】前述の炭化水素ガスとしては例えばエチレン、メタン、プロパン、プロピレンなどの炭化水素ガス、CO、CO<sub>2</sub>ガスあるいはエタノールやアセトンなどの有機溶剤の蒸気を用いることもある。

【0086】また、本実施の形態は、図4（c）の様に表面が凹凸形状を有する電子放出部材4であれば好ましく適用できる。この様な、表面が凹凸形状を有する電子放出部材4の材料としては、例えば、W、Ta、Mo等の耐熱性の材料、あるいはTiC、ZrC、HfC、TaC、SiC、WC等の炭化物、HfB<sub>2</sub>、ZrB<sub>2</sub>、LaB<sub>6</sub>、CeB<sub>6</sub>、YB<sub>4</sub>、Gd<sub>2</sub>B<sub>4</sub>等の硼化物、TiN、ZrN、HfN等の窒化物、Si、Ge等の半導体、アモルファスカーボン、グラファイト、ダイヤモンドライクカーボン、ダイヤモンドを分散した炭素及び炭素化合物等を用いることができる。

【0087】この様な表面が凹凸形状を有する電子放出部材4はスパッタ法等の一般的な真空成膜法等で堆積した膜をRIE等の手法を用いて凸形状の突起に加工する場合と、CVDにおける核成長を利用した針状結晶の成長や、ひげ結晶の成長等を利用する場合がある。

【0088】突起形状の制御は、RIEの場合には、用いる基板の種類、ガスの種類、ガス圧力（流量）、エッチング時間、プラズマを形成する時のエネルギー等に依存する。一方、CVDによる形成方法では、基板の種類、ガスの種類、流量、成長温度等で制御される。

【0089】尚、電子放出への関与に係わらず、電子放出部材4が配置された領域を本発明では「電子放出領域」と呼ぶ。

【0090】次に、上述した、電子放出部材4を部分的にエッチングして、エミッションサイト数を向上する「均一化处理」を行う（図4（d））。

【0091】電子放出素子を図2のような真空装置20内に配置し、排気装置23により十分排気した後、ガス導入バルブ22より電子放出部材4と化学的または物理的に反応し得る物質を導入する。

【0092】ここでいう化学的に反応する物質とは、電子放出部材4がカーボンである場合は、例えば前述した $O_2$ 、 $CO$ 、 $H_2O$ 、 $H_2$ 等である。あるいはまた、前記ファイバーと化学的に反応し得るガスは、 $H_2O$ 、 $O_2$ 、 $CO_2$ の中から選ばれたガスと、 $H_2$ ガスとの混合ガスであることが好適である。

【0093】また、物理的に反応する物質とは、主に電子ビームが衝突することにより帯電粒子となる物質のことをいい、 $Ar$ 等の比較的質量数の大きな物質が好ましい。上記物質のガスの導入圧力は、ガス種により異なるが、化学的に反応させる物質の場合は $1 \times 10^{-4} Pa$ 以上であり、物理的に反応させる物質の場合は $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4} Pa$ 程度である。

【0094】上記ガスを導入した後、電子放出素子の電子放出部材4に対して、電子放出素子の引き出し電極2が正となるような電位をかけ、電子放出させると、上記ガスと電子放出部材4が反応して電子放出部材4のエッチングが起こる。

【0095】この工程により、電子放出領域において、より電子放出し易い（電界がエンハンスされ易い）部分が集中的に反応してエッチングされ、過度に電界の集中していた部分が除去され、電界が電子放出領域により均等にかかるようにすることができる。

【0096】この様子を示す模式図を図2に示した。図2（a）は均一化处理開始時、図2（b）は均一化处理後の素子の模式図である。

【0097】尚、本工程は、画像形成装置を形成する場合等には、電子放出素子に配線等を形成した電子源基板と、蛍光体等からなる画像形成部材を有するフェイスプレートとを張り合わせ、真空外囲器を形成した（封着工程

と呼ぶ）後に、反応ガスを導入して、電子放出部領域に対してアノードに正電位を印加することによって行うこともできる。

【0098】このようにして本実施の形態に係る電子放出素子が形成される。

【0099】上記工程を経て得られた電子放出素子とその動作について、図6、図7を用いて説明する。引き出し電極2と陰極電極3間に数 $\mu m$ のギャップを持つ電子放出素子を、図6に示すような真空装置60に設置し、真空排気装置63によって $10^{-5} Pa$ 程度に到達するまで十分に排気し、図6に示したように高電圧電源を用いて、基板1から数mmの高さHの位置に陽極（アノード）61を設け、陰極電極3とアノード61間に数kVからなる高電圧のアノード電圧 $V_a$ を印加した。

【0100】尚、アノード61には、導電性フィルムを被覆した蛍光体62が設置されている。

【0101】引き出し電極2と陰極電極3間には、数十V程度からなるパルス電圧の素子電圧 $V_f$ を印加して、流れる素子電流 $I_f$ と電子放出電流 $I_e$ を計測した。

【0102】この時、等電位線66は、図6のように形成され、電界の集中する点は64で示される電子放出部材4の最もアノード61より、かつギャップの内側の場所である。

【0103】この電界集中点64近傍に位置する電子放出部材4から電子が放出されと考えられる。

【0104】電子放出素子の電子放出電流 $I_e$ 特性は、図7に示すように、印加電圧（素子電圧 $V_f$ ）の約半分から $I_e$ が急激に立ち上がり、 $I_f$ は $I_e$ の特性に類似していたが、その値は $I_e$ と比較して十分に小さな値であった。

【0105】また、電子放出部材4への局所的な電界集中によって電子放出部材4が破壊されること等により観測される $I_e$ の急変動は起こらなかった。

【0106】同一の製造方法により作製した本実施の形態に係る単素子A、B、Cについて、 $V_f$ 、 $V_a$ 、Hを一定にして駆動した場合の $I_e$ 変動を図5（a）に示した。3素子A、B、C共に $I_e$ 変動が少なく、 $I_e$ の値が同程度であることがわかる。

【0107】比較として、電子放出部材4の均一化处理（図4（d）にあたる）を省略し、それ以外は同一の製造方法により作製した単素子D、E、Fについて、上記と同様な条件にて駆動した場合の $I_e$ （放出電流）変動を図5（b）に示した。素子Dでは駆動初期に $I_e$ の急降下が観測され、素子Fでは $I_e$ が段階的に減少しある値で飽和傾向が見られた。素子Eの $I_e$ は安定していた。

【0108】このように、本発明の特徴の一つである均一化处理を行わないと、素子ごとに特性がバラついてしまう。これは、電子放出部材である繊維状カーボンの形状が様々であるために、電界集中し易い部分と、そうで

ない部分が素子ごとに異なってしまうことによる。

【0109】次に具体的に3つの素子（素子A、B、C）の場合を例に挙げ、多数の素子間における、本発明の均一化処理の一例を説明する。図12は均一化処理を行う前の素子A～Cの異なる電子放出特性を示している。

【0110】この例では素子Cが最も電子放出の閾値 $V_{th3}$ が大きく、素子Aが最も低い閾値 $V_{th1}$ で電子が放出する特性を示している。

【0111】最初に、前述した反応ガスを含む雰囲気中で、素子Aにパルス電圧を加え駆動すると、前述したカーボンの化学的エッチングの機構により素子Aの電子放出電流が急激に低下する。素子Aに印加する電圧を次第に上昇し、素子Cの閾値電圧（ $V_{th3}$ ）の時に電子放出が確認できなくなる程度まで処理を行う。同様にして、素子Bについては図中点Aで示される電流値から点Bで示される電流値に低下するまで処理を行う。

【0112】このようにすることにより、反応ガスを排気した後の雰囲気中で、各素子の特性を評価すると、素子A、Bの電子放出特性は素子Cの電子放出特性とほぼ一致させることができるのである。

【0113】このように、多数の素子間における本発明の「均一化処理」は、処理前に行う各電子放出素子の特性測定において、最も電子放出に必要な閾値電圧が低いと判断された電子放出素子の特性に、その他の素子の特性を合わせ込む方法が簡便であるため好ましい。

【0114】以下、この原理に基づき、電子放出素子を複数配置した電子源に均一化処理を施す方法の一例を、図8を用いて説明する。図8において、81は電子源基体、82はX方向配線、83はY方向配線である。84は電子放出素子、85は結線である。

【0115】X方向配線82は、 $D \times 1$ 、 $D \times 2$ 、...、 $D \times m$ のm本の配線からなり、真空蒸着法、印刷法、スパッタ法等を用いて形成された導電性金属等で構成することができる。配線の材料、膜厚、巾は、適宜設計される。

【0116】Y方向配線83は、 $D_y 1$ 、 $D_y 2$ 、...、 $D_y n$ のn本の配線からなり、X方向配線82と同様に形成される。

【0117】これらm本のX方向配線82とn本のY方向配線83との間には、不図示の層間絶縁層が設けられており、両者を電気的に分離している（m、nは、共に正の整数）。

【0118】不図示の層間絶縁層は、真空蒸着法、印刷法、スパッタ法等を用いて形成された $SiO_2$ 等で構成される。例えば、X方向配線82を形成した電子源基体81の全面或は一部に所望の形状で形成され、特に、X方向配線82とY方向配線83の交差部の電位差に耐えられるように、膜厚、材料、製法が適宜設定される。

【0119】そして、X方向配線82とY方向配線83

は、それぞれ外部端子として引き出されている。

【0120】電子放出素子84を構成する一対の電極（不図示）は、m本のX方向配線82とn本のY方向配線83と導電性金属等からなる結線85とによって電気的に接続されている。

【0121】図8のような単純マトリクスにおいて、X方向行及びY方向列が多くなると、マトリクス上の電子放出素子84を全て選択して一括して均一化処理を行う際には、電圧降下によって各素子84への印加電圧に分布が生じる場合がある。そこで、例えば線順次に均一化を行うことや、点順次に均一化を行うことが好ましい。

【0122】ここでは、全電子放出素子に対して均一化処理を行う例を説明するが、均一化処理を全ての電子放出素子に行わず、所望の電子放出素子にのみ行うこともできる。

【0123】均一化処理を行う前に、予め、各電子放出素子84の電気的特性を測定しておくことが好ましい。この測定によって得られたデータを基にどのように各電子放出素子の電気的特性を揃えるかを決定することができる。測定する（モニタする）電気的特性としては、例えば、一定の電圧を、各電子放出素子あるいは、電子放出素子とアノード間に印加した際に発生する電流を測定すればよい。

【0124】電子放出素子に発生する電流としては、例えば、各電子放出素子の引き出し電極と陰極電極との間に一定の電圧を印加した際に、引き出し電極と陰極電極との間に流れる電流がある。アノード電極と電子放出素子との間に発生する電流としては、例えば、アノード電極と電子放出素子間に一定の電圧を印加した際に、アノードに流れ込む電流（電子放出素子からの放出電流）をモニタする場合などが挙げられる。

【0125】また、上記電気的特性の測定は、全電子放出素子に対して行うことが好ましいが、電子放出素子の数が増えた場合には、一部の素子に限って測定を行い、この測定値に基づいて均一化処理を行っても良い。

【0126】この様にして測定された電気的特性から判断し、全ての電子放出素子の電気的特性を所定の値の範囲内に近づけるために、好ましくは全ての電子放出素子に均一化処理を行う。しかしながら、各素子の電気的特性がそれほど異ならなければ、所望の範囲から外れた特性をもつ電子放出素子にのみ均一化処理を施しても良い。

【0127】次に前述した線順次の均一化法について述べる。例えば、 $D_y 1$ 、 $D_y 2$ 、...、 $D_y n$ のn本のY方向配線を共通接続（例えばGND接続）し、Y方向配線に対して正の電位をX方向配線の $D \times 1$ に印加して、 $D \times 1$ 行の電子放出素子（ $D \times 1$ の配線に接続する電子放出素子）84を選択して均一化処理を行う。続いて $D \times 2$ に同様な電圧を印加して $D \times 2$ 行の電子放出素子を選択して均一化処理を行う。同様にして、 $D \times 3$ 、 $D \times$

4, ... D x m行を順次選択して、X方向に線順次に均一化処理を行う。このようにすることで、電圧降下の影響を少なくすることができる。

【0128】尚、ここでは、ある1つのX方向配線に接続する全ての電子放出素子に対して均一化処理を行う例を示したが、ある1つのX方向配線に接続する電子放出素子のうちの幾つかに対して均一化処理を行っても良い。つまり、均一化処理を全ての電子放出素子に行わず、所望の電子放出素子にのみ行うこともできる。

【0129】次に点順次均一化法は、上記マトリクス配線を用いて、個別の素子を選択し独立に駆動可能して、電子放出素子84を一個づつ順に均一化していく方法である。この方法では、電圧降下の影響が全くないが、処理にかかる時間が素子の数に比例するので、電子源の大きさや使用用途により、線順次処理、点順次処理、または一括処理を使い分ければよい。この方法においても、均一化処理を全ての電子放出素子に行わず、所望の電子放出素子にのみ行うこともできる。

【0130】このような単純マトリクス配置の電子源を用いて構成した画像形成装置について、図9を用いて説明する。図9は、画像形成装置の表示パネルの一例を示す模式図である。

【0131】図9において、81は電子放出素子を複数配した電子源基体、91は電子源基体81を固定したリアプレート、96はガラス基体93の内面に蛍光膜94とメタルバック95等が形成されたフェースプレートである。92は支持枠であり、支持枠92には、リアプレート91、フェースプレート96がフリットガラス等を用いて接続されている。外囲器97は、例えば大気中、真空中あるいは、窒素中で、400～500℃の温度範囲で10分以上焼成することで、封着して構成される。

【0132】外囲器97は、上述の如く、フェースプレート96、支持枠92、リアプレート91で構成される。リアプレート91は主に電子源基体81の強度を補強する目的で設けられるため、電子源基体81自体で十分な強度を持つ場合は別体のリアプレート91は不要とすることができる。即ち、基体81に直接支持枠92を封着し、フェースプレート96、支持枠92及び基体81で外囲器97を構成しても良い。一方、フェースプレート96、リアプレート91間に、スペーサとよばれる不図示の支持体を設置することにより、大気圧に対して十分な強度をもつ外囲器97を構成することもできる。

【0133】また、本実施の形態に係る電子放出部材4の均一化処理工程は、外囲器97を形成した後に、ガス導入チューブ98により、反応ガスを導入して行うこともできる。なお、導入したガス及び反応生成物は排気チューブ99により随時除去される。

【0134】本実施の形態の画像形成装置は、テレビジョン放送の表示装置、テレビ会議システムやコンピュータ等の表示装置の他、感光性ドラム等を用いて構成され

た光プリンタとしての画像形成装置等としても用いることができる。

【0135】（実施例）以下、本実施の形態についての具体的な実施例を詳細に説明する。

【0136】（第1の実施例）第1の実施例として、O<sub>2</sub>ガス雰囲気下において、電子放出素子の陰極電極と引き出し電極間にバイアスして電子放出させ、均一化させた例を示す。図1に本実施例に係る電子放出素子の製造方法を示し、図3には作製した電子放出素子の平面図及び断面図を示す。以下に、本実施例に係る電子放出素子の製造工程を詳細に説明する。

【0137】（工程1（図1（a）））基板1に石英基板を用い、十分洗浄を行った後、引き出し電極2及び陰極電極3として、スパッタ法により厚さ5nmのTi及び厚さ30nmのPtを連続的に蒸着を行なった。

【0138】次に、フォトリソグラフィ工程で、ポジ型フォトレジスト（AZ1500/クラリアント社製）を用いてレジストパターンを形成した。

【0139】次に、パターニングした前記フォトレジストをマスクとして、Arを用いてPt層、Ti層のドライエッチングを行い、電極間のギャップが5μmからなる引き出し電極2及び陰極電極3を形成した。

【0140】（工程2（図1（b）））次に、全体にCrをEB蒸着にて約100nmの厚さに堆積した。フォトリソグラフィ工程で、ポジ型フォトレジスト（AZ1500/クラリアント社製）を用いてレジストパターンを形成した。

【0141】次に、パターニングした前記フォトレジストを、マスクとし、電子放出部材4を被覆すべき領域（100μm角）について陰極電極3上に形成し、開口部のCrを硝酸セリウム系のエッチング液で取り除いた。

【0142】フォトレジストを剥離した後、Pd錯体にイソプロピルアルコール等を加えた錯体溶液を、スピコートにて全体に塗布した。

【0143】塗布後、大気中300℃で熱処理を行い、酸化パラジウム41を約10nmの厚さに陰極電極3上に形成した後、Crを硝酸セリウム系のエッチング液にて取り除いた。

【0144】（工程3（図1（c）））そして、200℃に加熱し、大気を排気後、窒素で希釈した2%水素気流中で熱処理を行った。この段階で陰極電極3表面には粒子の直径が約3～10nmの粒子42が形成された。この時の粒子42の密度は約10<sup>11</sup>～10<sup>12</sup>個/cm<sup>2</sup>と見積もられた。

【0145】（工程4（図1（d）））続いて、窒素希釈した0.1%エチレン気流中で500℃、10分間加熱処理をした。これを走査電子顕微鏡で観察すると、Pd塗布領域に直径10～25nm程度で、屈曲しながら繊維状に伸びた多数の繊維状カーボン43が形成されて

いるのがわかった。このとき繊維状カーボン43の厚さは約500nmとなっていた。

【0146】(工程5(図1(e)))次に、図2の真空装置20内に素子を配置し、排気装置23により $1 \times 10^{-5}$ Paまで排気した後、ガス導入バルブ22より $O_2$ ガスを真空装置20内の真空度が $1 \times 10^{-4}$ Paになるまで導入し、陰極電極3に対して、引き出し電極2を正として、パルス電圧を印加した。この状態で1時間駆動して、電子放出部材4を均一化させた。

【0147】そして、以上の工程によって形成された電子放出素子を図6の真空装置60中で、真空排気装置63によって $2 \times 10^{-6}$ Paに到達するまで十分に排気し、図6に示したよう $H=2$ mm離れた陽極(アノード)61に、アノード電圧 $V_a=10$ kV印加した。

【0148】このとき、電子放出素子には素子電圧 $V_f=20$ Vのパルス電圧を印加して流れる素子電流 $I_f$ と電子放出電流 $I_e$ を計測した。

【0149】電子放出素子の $I_e$ 特性は、図7に示すように、印加電圧の約半分から $I_e$ が急激に増加し、 $V_f$ が15Vでは約 $1 \mu A$ の電子放出電流 $I_e$ が測定された。時間に対する $I_e$ の変動が少ない良好な電子放出特性が得られた。

【0150】一方、 $I_f$ は $I_e$ の特性に類似していたが、その値は $I_e$ と比較して一桁小さな値であった。

【0151】図13を用いて、本実施例で行った均一化処理の機構について説明する。図13は均一化処理の前後の素子特性の変化を示している。

【0152】図13の均一化処理前の電子放出素子は閾値 $V_{th1}$ (約 $1V/\mu m$ )で電子が放出する特性を示していた。そして、上記したように、 $O_2$ ガス雰囲気中で、素子にパルス電圧を加え駆動したところ、前述したカーボンの化学的エッチングの機構により素子の電子放出電流が急激に低下した。そして、次第に素子に印加する電圧を上昇し、図13の閾値電圧 $V_{th2}$ の時に電子放出が確認できなくなる程度まで処理を行った。

【0153】次に、 $O_2$ ガスを排気後再び素子特性を評価すると閾値 $V_{th2}$ から電子が放出される特性に変化していた。この時、電子放出により得られた電子放出電流の変動幅が減少し、均一化処理により電子放出点が増加したと思われる。

【0154】尚、本実施例で得られた素子から放出された電子ビーム径は、Y方向に細長く、X方向に短い、略矩形形状であった。

【0155】(第2の実施例)第2の実施例として、 $O_2$ ガス雰囲気下において、電子放出素子の陰極電極と、電子放出素子と対向する陽極(アノード)間にバイアスして電子放出させ、均一化工程を行った例を示す。

【0156】(工程1)第1の実施例の工程1から工程4と同様な方法で、基板1上に素子引き出し電極2及び陰極電極3を形成し、陰極電極3上に電子放出部材4と

して繊維状カーボンを作製した。

【0157】(工程2)上記の電子放出素子を図2のような真空装置20に設置し、真空排気装置23によって $2 \times 10^{-6}$ Paに到達するまで十分に排気した後、ガス導入バルブ22から $O_2$ ガスを真空装置20内の真空度が $1 \times 10^{-4}$ Paになるまで導入し、電子放出素子の陰極電極3に対して、電子放出素子の引き出し電極2を正として、 $V_f=20$ Vのパルス電圧(パルス幅:10msec、パルス長:4msec)を印加した。同時に、電子放出素子の陰極電極3に対して、アノード24を正として $V_a=10$ kVの電圧を印加した。この状態で1時間駆動して、電子放出部材4の均一化を行った。

【0158】以上のようにして作製した電子放出素子を、 $V_f$ を15Vに固定し、アノード間距離 $H$ を2mmに固定し、アノード電圧 $V_a=10$ kVとして駆動した。このようにしても、第1の実施例と同様に安定した $I_e$ が得られた。

【0159】(第3の実施例)電子放出素子を複数配置したマトリクス電子源からなる表示装置において、マトリクスのライン毎に均一化処理を行った例について、図8、図9を用いて説明する。

【0160】図8において、81は電子源基体、82はX方向配線、83はY方向配線である。84は電子放出素子、85は結線である。

【0161】複数配置したことに伴う素子容量が増大すると、図8に示すマトリクス配線においては、パルス幅変調に伴う短いパルスを加えても容量成分により波形がなまり、期待した階調が取れない等の問題が生じる。

【0162】このため、本実施例では、第1の実施例に示したように、電子放出部材4のすぐ脇に、層間絶縁層を配し、電子放出領域以外での容量性分の増加を低減する構造を採用した。

【0163】図8において、X方向配線82は $D \times 1$ 、 $D \times 2$ 、... $D \times m$ の $m$ 本の配線からなり、蒸着方にて形成された厚さ約 $1 \mu m$ 、幅 $300 \mu m$ のアルミニウム系配線材料で構成されている。配線の材料、膜厚、巾は適宜設計される。

【0164】Y方向配線83は $D_y 1$ 、 $D_y 2$ 、... $D_y n$ の $n$ 本の配線からなり、厚さ $0.5 \mu m$ 、幅 $100 \mu m$ でX方向配線82と同様に形成される。

【0165】これら $m$ 本のX方向配線82と $n$ 本のY方向配線83との間には、不図示の層間絶縁層が設けられており、両者を電氣的に分離している( $m$ 、 $n$ は、共に正の整数)。

【0166】不図示の層間絶縁層は、スパッタ法等を用いて厚さ約 $0.8 \mu m$ の $SiO_2$ で構成された。X方向配線82を形成した基体81の全面或は一部に所望の形状で形成され、特に、X方向配線82とY方向配線83の交差部の電位差に耐え得るように、本実施例では1素子当たりの素子容量が1pF以下、素子耐圧30Vにな



るように層間絶縁層の厚さが決められた。

【0167】X方向配線82とY方向配線83は、それぞれ外部端子として引き出されている。

【0168】本発明の放出素子84を構成する一対の電極（不図示）は、m本のX方向配線82とn本のY方向配線83と導電性金属等からなる結線85によって電気的に接続されている。

【0169】本実施例においてはY方向配線は陰極電極側、X方向配線は引き出し電極側になるように接続された。

【0170】 $Dy_1, Dy_2, \dots, Dy_n$ のn本のY方向配線を共通としてアースに落とし、アースに対して正側のパルス電圧を $Dx_1$ に印加して $Dx_1$ 行の電子放出素子84を選択して均一化处理を行った。

【0171】続いて $Dx_2$ に同様な電圧を印加して、 $Dx_2$ 行の電子放出素子84を選択して均一化处理を行った。同様に、 $Dx_3, Dx_4, \dots, Dx_m$ 行を選択してX方向線順次に均一化处理を行った。

【0172】このような単純マトリクス配置の電子源を用いて構成した画像形成装置について、図9を用いて説明する。図9は、ガラス基板材料としてソーダライムガラスを用いた画像形成装置の表示パネルを示す図である。

【0173】図9において、81は電子放出素子を複数配した電子源基体、91は電子源基体81を固定したリアプレート、96はガラス基体93の内面に蛍光膜94とメタルバック95等が形成されたフェースプレートである。92は、支持枠であり該支持枠92には、リアプレート91、フェースプレート96がフリットガラス等を用いて接続されている。97は外囲器であり、真空中で、 $450^{\circ}\text{C}$ の温度範囲で10分焼成することで、封着して構成される。

【0174】84は電子放出素子に相当する。82、83は電子放出素子の一対の素子電極と接続されたX方向配線、Y方向配線である。X方向配線82及びY方向配線83はそれぞれの行配線及び列配線が $Dox_1$ 乃至 $Dox_m$ 及び $Doy_1$ 乃至 $Doy_n$ の端子として外囲器97の外部へ取り出される。

【0175】外囲器97は、上述の如く、フェースプレート96、支持枠92、リアプレート91で構成される。一方、フェースプレート96とリアプレート91間に、スペーサとよばれる不図示の支持体を設置することにより、大気圧に対して十分な強度をもつ外囲器97を構成している。

【0176】メタルバック95は、蛍光膜94作製後、蛍光膜94の内面側表面の平滑化处理（通常、「フィリミング」と呼ばれる。）を行い、その後真空蒸着等を用いてAlを堆積させることで作られた。

【0177】フェースプレート96には、更に蛍光膜94の導電性を高めるため、蛍光膜94の外側面に透明電

極（不図示）を設けた。

【0178】本実施例では、電子源からの電子放出は引き出し電極2側に射出されるので、アノード電圧 $V_a$ が10kVで、アノード間距離Hが2mmの時は、引き出し電極2側に $200\mu\text{m}$ 偏移した位置に対応して蛍光膜94が配置された。

【0179】このようにして得られたマトリクス電子源は、各電子放出素子84毎の特性が揃いIeの分布が少なく、表示装置等に非常に好ましいものであった。

【0180】（第4の実施例）本実施例では、第3の実施例の電子放出素子を複数配置したマトリクス電子源からなる画像形成装置としての表示装置において、各電子放出素子毎に均一化处理を行った例を示す。

【0181】第3の実施例と同様に図8のようなマトリクス電子源を作製した。本実施例においても、Y方向配線83は陰極電極側、X方向配線82は引き出し電極側になるように接続した。

【0182】 $Dy_1$ と $Dx_1$ に電圧を印加し、 $Dy_1$ と $Dx_1$ の交差部にあたる電子放出素子84を選択し、独立に駆動して均一化处理を行った。

【0183】続いて $Dy_1$ と $Dx_2$ に同様な電圧を印加して、 $Dy_1$ と $Dx_2$ の交差部の電子放出素子84を独立選択して均一化处理を行った。同様にして各電子放出素子84の一個ずつについて均一化处理を行った。

【0184】本実施例で作製したマトリクス電子源を用いて第3の実施例と同様に図9のような表示装置を作製した。

【0185】このようにして得られたマトリクス電子源では、さらにIeの分布が少なく、表示装置等に非常に好ましいものであった。

【0186】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、電子放出部材であるファイバーの複数の突起間の形状を均一化したことにより、電子放出部材で局所的な電界集中が防止され、電子放出特性の均一化を図ることができると共に、局所的な電界集中で電流密度が高くなって過負荷がかかり、放出電流の衰退が起こることが抑制できる。

【0187】このため、放電を誘発することを抑制でき、電子放出素子の寿命をより長くすることができ、時間に対して変動の少ない安定した電子放出電流を長期にわたって維持することができる。

【0188】そして、複数の電子放出素子を備えた電子源及び画像形成装置に対しても、各電子放出素子の電子放出電流が安定して維持されることから各画素の耐久性が向上し、画像の明暗を上手く表現でき、画像のチラつきを防止でき、長期にわたって均一な表示特性を有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例に係る電子放出素子の製造方法を示す図である。

【図2】実施の形態に係る電子放出部材の微細突起の形状を均一化する工程を示す図である。

【図3】実施の形態に係る電子放出素子を示す図である。

【図4】実施の形態に係る電子放出素子の製造工程を示す図である。

【図5】電子放出素子の時間に対する放出電流の変化を示す図である。

【図6】電子放出素子を動作させる時の構成例を示す図である。

【図7】実施の形態に係る電子放出素子の動作特性例を示す図である。

【図8】実施の形態に係る単純マトリクス回路の電子源の構成例を示す図である。

【図9】実施の形態に係る電子源を用いた、画像形成装置の構成例を示す図である。

【図10】カーボンナノチューブの構造を示す概要図である。

【図11】グラファイトナノファイバーの構造を示す概要図である。

【図12】本発明の均一化処理前の複数の素子の様子を  
示す模式図である。

【図13】本発明の均一化処理の前後を示す模式図であ

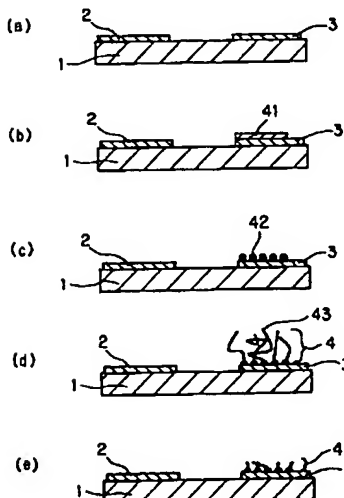
る。

【図14】従来の縦型FE型電子放出素子を示す図である。

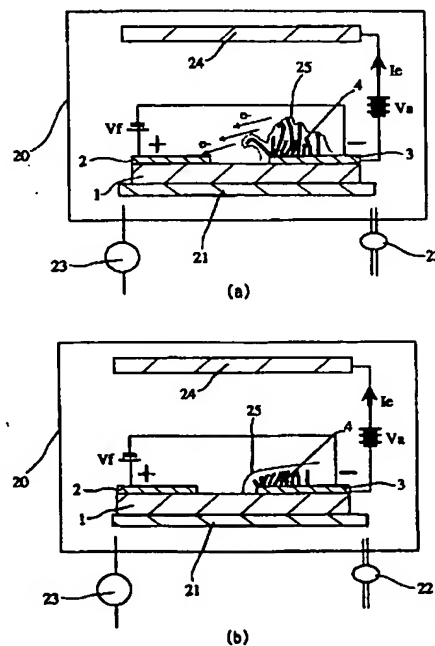
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 引き出し電極
- 3 陰極電極
- 4 電子放出部材
- 20 真空装置
- 22 ガス導入バルブ
- 23 真空排気装置
- 24 アノード
- 25 等電位面
- 41 酸化パラジウム
- 42 粒子
- 43 繊維状カーボン
- 60 真空装置
- 61 アノード
- 62 蛍光体
- 63 真空排気装置
- 64 電界集中点
- 66 等電位線

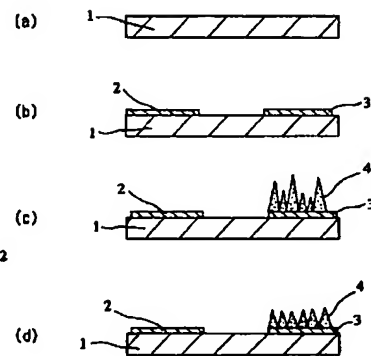
【図1】



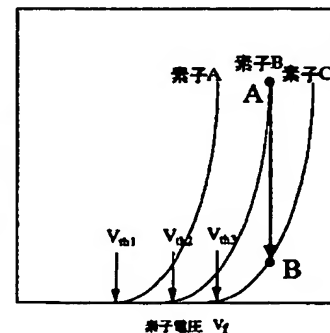
【図2】



【図4】

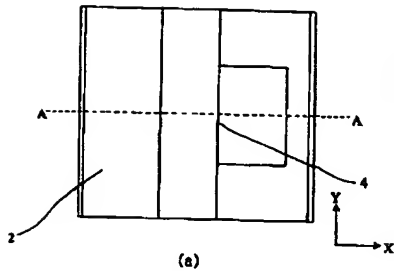


【図12】

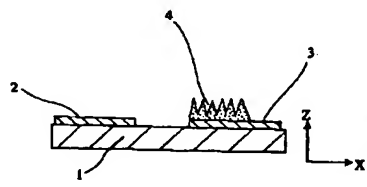




【図3】

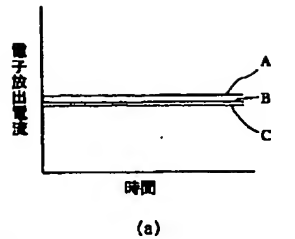


(a)

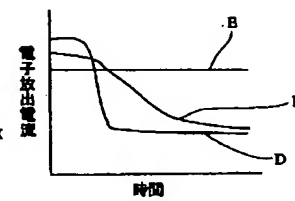


(b)

【図5】

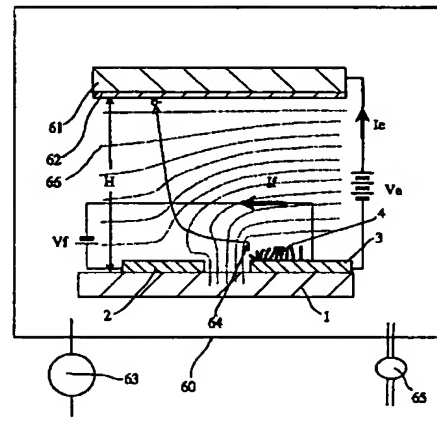


(a)



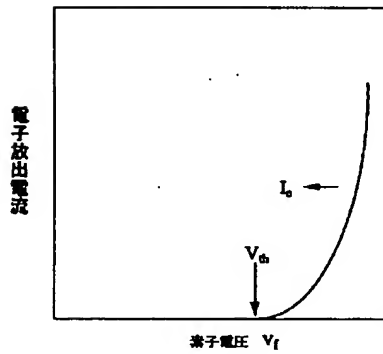
(b)

【図6】

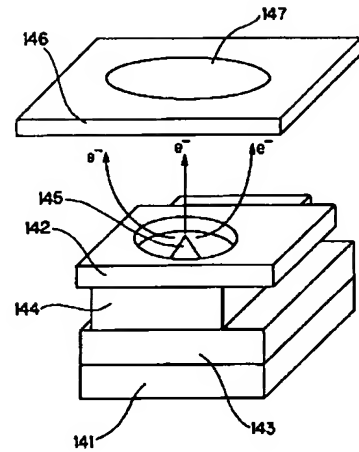
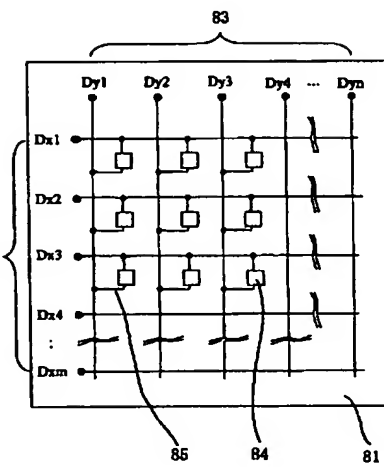


【図14】

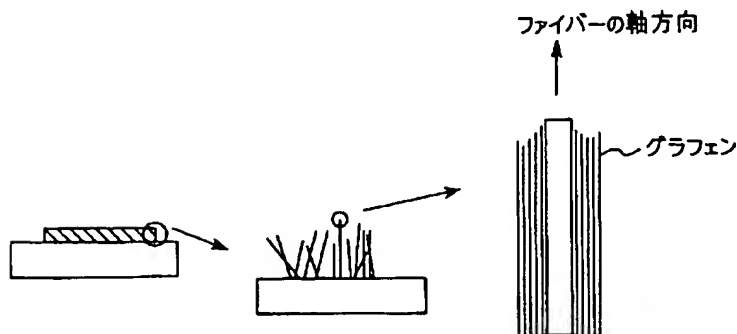
【図7】

電子電圧  $V_t$ 

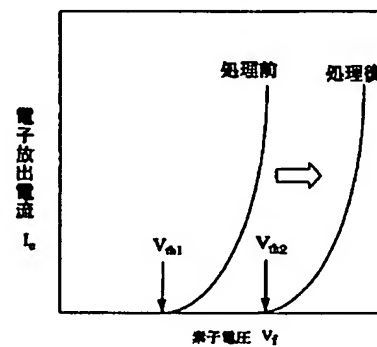
【図8】



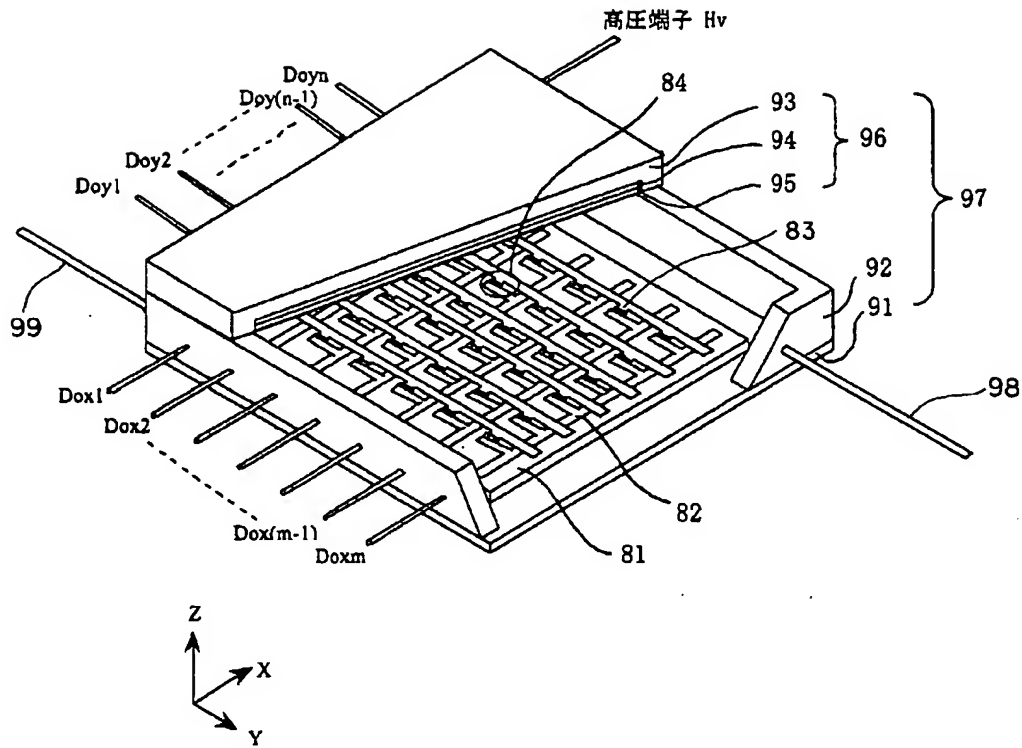
【図10】



【図13】



【図9】



【図11】

